Rancangan dan Implementasi Satu Fasa Inverter 7-Tingkat Menggunakan Mikrokontroller Arduino Uno

Reva Anugrah Ramdhana[1] dan Leonardus Heru Pratomo[2]

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Dhuwur, Semarang, Indonesia

Email: revaanugrahr@gmail.com , leonardus_hp@yahoo.com

Abstrak

Inverter dengan harmonisa tegangan keluaran rendah banyak digunakan pada aplikasi energi terbarukan. Masalah utama pada *inverter* tingkat jamak adalah banyaknya saklar daya yang digunakan. Pada makalah ini dibahas tentang implementasi *inverter* 7-tingkat. *Inverter* yang diimplementasi adalah tipe asimetris yang dimaksudkan untuk menghemat pemanfaatan saklar daya. Dengan konfigurasi rangkaian daya dibagi menjadi dua yaitu A dan B. Pada bagian (A) yang mempunyai frekuensi yang tinggi untuk menghasilkan level tegangan dan bagian (B) yang mepunyai frekuensi rendah untuk menghasilkan polaritas pada pensaklaran di inverter ini, dengan konfigurasi tersebut hanya membutuhkan jumlah saklar yang lebih sedikit dibandingkan dengan konfigurasi yang konvesional. Inverter ini menggunakan mikrokontroller *Arduino Uno* untuk keluaran sinyal *Carrier*. Topologi ini menghasilkan THD 2,20% yang sangat rendah. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan simulasi menggunakan aplikasi power simulator.

Abstract

Inverters with low output voltage harmonics are widely used in renewable energy applications. The main problem of multiple-level inverters is too much the power switches used. This paper discusses the implementation of 7-level inverters. The inverter implemented is asymmetrical type which is intended to save the use of the power switch.The configuration of the power circuit divided into two, namely A and B. In part (A) which has a high frequency to produce a voltage level and part (B) which has a low frequency to produce polarity on the switching in this inverter, with this configuration only requires a number of fewer switches compared to conventional configurations. This inverter use Arduino Uno as microcontroller for Carrier signal output. This topology produces a 2.20% THD which is very low. In this research, simulation is made using a power simulator application.

Keywords: Arduino Uno, Inverter 7 Level, THD

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Sekarang ini sumber energi fosil masih menjadi sumber utama pembangkit listrik. Namun semakin berkurangnya ketersediaan sumber daya tersebut akan meningkatkan kesadaran manusia mencari energi alternatif misalnya pembangkit tenaga surya [1].

Sebuah *inverter multilevel* adalah jenis konverter daya elektronik yang dapat memberikan atau menghasilkan yang diinginkan *Alternating Current* (AC) tingkat tegangan pada output dari konverter menggunakan beberapa nomor dari tingkat yang lebih rendah *Direct Current* (DC) sumber tegangan sebagai masukan dengan / tanpa menggunakan rangkaian filter [2]. Penggunaan *inverter* sebagai peralatan elektronika daya sangat luas. Inverter konvensional yang paling sederhana mempunyai output berupa gelombang kotak, sedikit lebih kompleks enggunakan teknik SPWM *(Sinusoidal Pulse Wide Modulation)* sebagai kontrol *switching* komponen semikonduktor (MOSFET) [3].

Dengan meningkatkan jumlah tingkatan di *inverter*, tegangan *output* memiliki langkah menghasilkan lebih banyak bentuk gelombang tegangan, yang memiliki distorsi harmonik berkurang[4]. *Inverter* sumber tegangan menghasilkan tegangan keluaran atau saat ini dengan *level* 0 atau ± Vdc, maka total distorsi harmonik

juga rendah [5]. Keunggulan *saklar* juga menjadi lebih sedikit. Dan, filter yang dibutuhkan untuk menghaluskan tegangan *output* kecil karenanya, sistem ini kompak, lebih ringan dan jauh lebih murah [6]. Paper ini menyarankan sebuah tipe *inverter* dengan konstruksi asimetris 7-tingkat, disimulasikan dengan PSIM.

Yang akan dibahasnya lebih lanjut tentang rancangan yang diajukan penulis, rangkaian dan mode operasinya. Disebutkan sebelumnya, kekurangan dari metode konvensional dari *inverter* (contohnya inverter 3 tingkat) umumnya menghasilkan nilai harmonisa yang cukup tinggi di keluaran tegangannya [7],[6]. Meskipun dinyatakan nilai harmonisa yang diregulasi melalui IEEE yang disarankan dan implementasi yang dilakukan. Nilai tingkat kecacatan atau dikenal dengan nama *Total Harmonics Distortion* (THD) suatu *inverter* diukur menggunakan standar harmonisa IEEE[8]. Bahkan setelah mengimplementasikan topologi inverter yang umum (contohnya *diode clamp*, *flying capacitor*) ,[9] batasan dari topologi ini berkisar pada jumlah saklar yang digunakan dan mode operasi yang dikendalikan yang akan berpengaruh pada efektifitas aplikasi PLTS Mandiri.

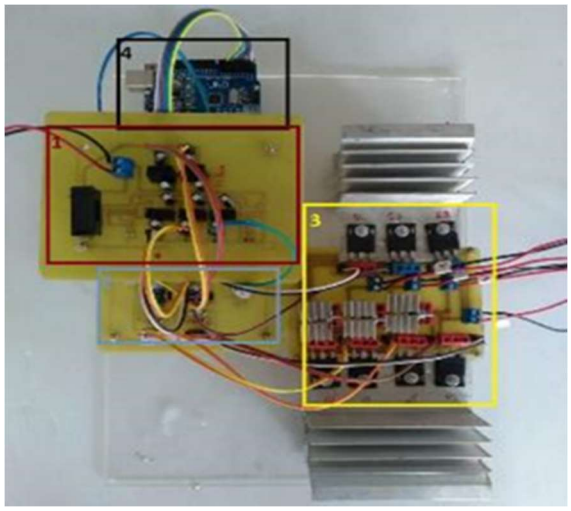
2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah rancangan bangun dari simulasi inverter 7-tingkat tipe asimetris dan bagaimana pensaklaran dalam *inverter* ini dapat dikendalikan melalui sebuah *decoder* serta komparasi untuk mendapatkan tingkatan yang diinginkan menggunakan pendekatan konstruksi asimetris pada *inverter*. Pada metode ini pula akan dibahas mengenai tahapan mode operasi pada inverter yang dirancang sehingga dapat memunculkan 7-tingkat pada keluaran.

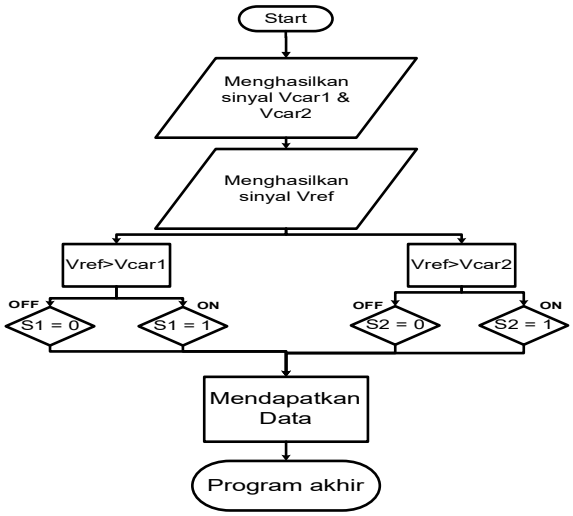
2.1 Perancangan Hardware Inverter 7-Tingkat

Gambar 1 dan gambar 2 dibawah ini merupakan rancangan *hardware* dan *flowchart* 7-tingkat tipe asimetris yang dibuat di laboratorium. *Prototype* yang dibuat memiliki 4 bagian.

1. Rangkaian catu daya penggerak saklar daya menggunakan catu daya DC-Dc konverter terisolasi dengan jenis B1212-1W sebanyak 5 buah.
2. Rangkaian penggerak saklar, digunakan I TLP 250 sebagai isolasi elektronis sebanyak 5 buah, dan IC IRF 211 sebanyak 2 buah untuk membentuk polaritas.
3. Saklar daya menggunakan tipe Mosfet IRF 250
4. Mikrokontroler menggunakan tipe Arduino Uno



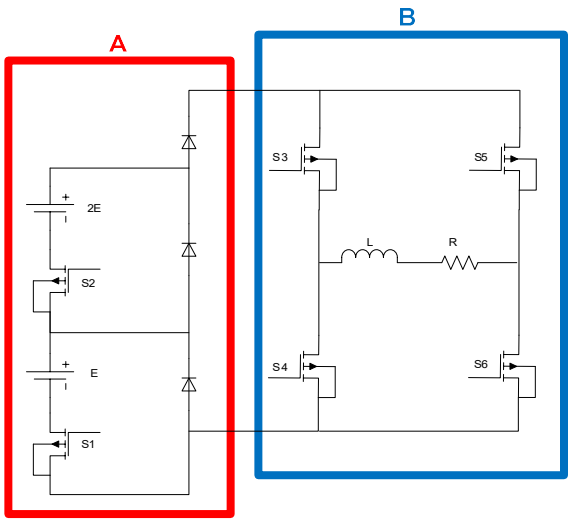
Gambar 1. *Prototype inverter* 7-tingkat tipe asimetris



Gambar 2. Flowchart cara kerja inverter 7 Tingkat

2.2. Cara Kerja Hardware

Pada bagian ini dibahas mode-mode operasi atau pensaklaran yang mungkin terjadi dari topologi *inverter* 7 tingkat. *Inverter* 7 tingkat diterapkan dengan menggunakan 6 saklar daya aktif dan 3 saklar pasif dan 2 sumber tegangan DC. *Inverter* ini terdiri dari 2 bagian yaitu yang Pertama (A) terdiri dari 2 buah saklar daya aktif (S1 – S2) dan 3 buah saklar daya pasif, dan yang kedua (B) terdiri dari 4 buah saklar daya aktif (S3 – S6) difungsikan sebagai pembalik polaritas tegangan dengan frekuensi sebesar 50 Hz.



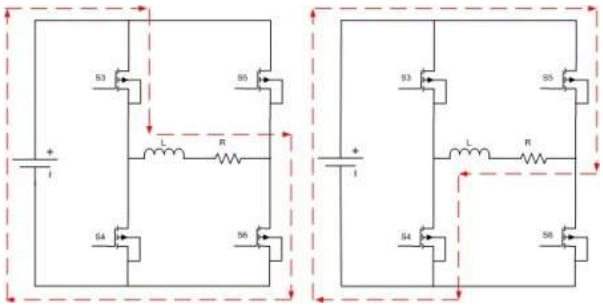
Gambar 3. Pembagian Tahap Saklar

Bagian B (S3 – S6) merupakan *polarity* generator yang mengubah polaritas bagian A (S1 – S2). Bagian ini terhubung langsung pada keluaran konstruksi *inverter* dengan bagian B (S3 – S6) terdiri dari 2 konstruksi *half-bridge* dua lengan. Keluaran *inverter* dihubungkan ke beban menghasilkan sebuah gelombang keluaran 7 tingkat dan pemasangan L yang ber-orde mH berfungsi sebagai filter pasif pada sistem.

Pensaklaran dalam konstruksi *inverter* 7 tingkat ini memiliki 7 mode operasi utama untuk membangkitkan keluaran 7 tingkat. Dimana mode operasi ini dinamakan mode operasi 0 sampai 6 sehingga bernilai total 7 mode yang akan di jelaskan dibawah.

2.2.1 Mode Operasi 0 (Arus Putar)

Pada bagian A (S1 – S2) dimatikan atau berlogika "0". dan pada pensaklaran di bagian B (S3 – S6) memiliki 2 mode utama yang menghasilkan tegangan keluaran bernilai 0E atau 0V. Jalur mode operasi pada mode operasi 0 dapat dilihat melalui gambar 4. (1).



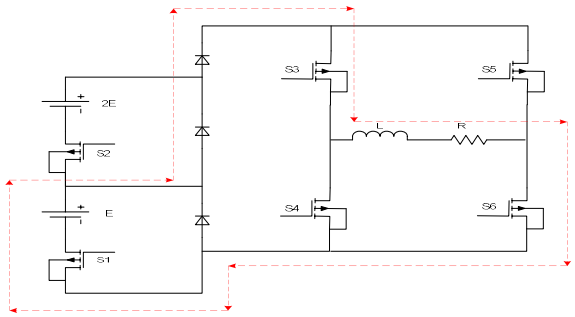
Gambar 4. Mode Operasi 0

Vin = 0 (1)

Mode operasi 0 memiliki 2 operasi utama pada pensaklaran di bagian B (S3 – S6). Bagian A (S1 – S2) berlogika "0" dan operasi pertama pasangan saklar S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika "1" dan berkebalikan, pada operasi kedua pasangan saklar S4 dan S5 dihidupkan berlogika "1". Pasangan saklar ini harus dihidupkan secara bergantian. Proses ini disebut dengan nama *freewheeling*. Menghasilkan keluaran yang bernilai 0V, yang didapatkan dari Vin = 0 maka analisa keluaran adalah Vout = 0.

2.2.2 Mode Operasi 1

Pada bagian A (S1 – S2) yaitu S1 dihidupkan atau berlogika "1" dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika "1". Mode operasi pertama dapat dilihat pada gambar 5. (2).



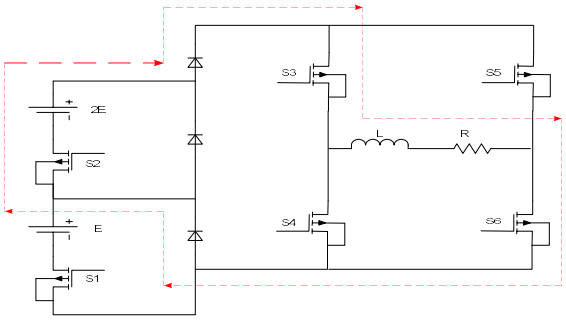
Gambar 5. Mode Operasi 1

Vin = 1E (2)

Pada mode operasi pertama saklar pada bagian A (S1 – S2) yaitu S1 dihidupkan atau berlogika "1" dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika "1". masukan pada sistem Vin = E, maka akan menghasilkan keluaran tegangan keluaran Vout = E.

2.2.3 Mode Operasi 2

Pada bagian A (S1 – S2) yaitu S2 dihidupkan atau berlogika "1" dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika "1". Mode operasi pertama dapat dilihat pada gambar 6. (3).



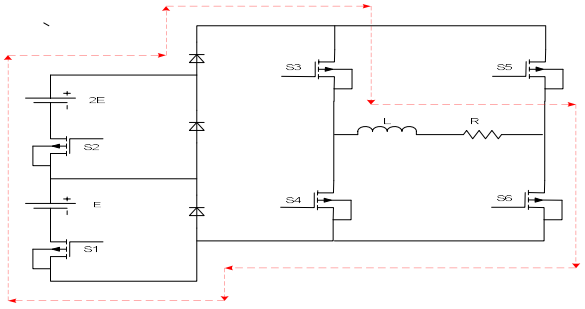
Gambar 6. Mode Operasi 2

Vin = 2E (3)

Pada mode operasi pertama saklar pada bagian A (S1 – S2) yaitu S2 dihidupkan atau berlogika "1" dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika "1". masukan pada sistem Vin = 2E, maka akan menghasilkan keluaran tegangan keluaran Vout = 2E.

2.2.4 Mode Operasi 3

Pada bagian A (S1 – S2) yaitu S1 dan S2 dihidupkan atau berlogika "1" dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika "1". Mode operasi pertama dapat dilihat pada gambar 7. (4).



Gambar 7. Mode Operasi 3

Vin = 3E (4)

Pada mode operasi pertama saklar pada bagian A (S1 – S2) yaitu S1 dan S2 dihidupkan atau berlogika "1" dan saklar pada bagian B (S3 – S6) yaitu S3 dan S6 dihidupkan atau berlogika "1". masukan pada sistem Vin = 3E, maka akan menghasilkan keluaran tegangan keluaran Vout = 3E.

Mode Operasi 4 – 6 merupakan setengah siklus negatif dengan polaritas yang terbalik dari Mode Operasi 0 – 3 dengan pergantian polaritas yang dilakukan pada bagian B (S3 – S6) pada konstruksi *inverter*.

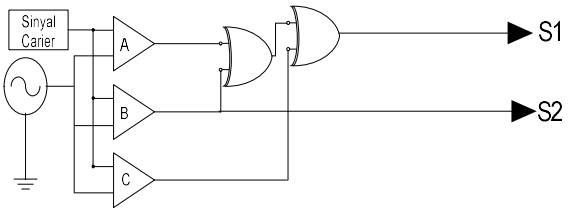
Mode operasi yang telah dijelaskan dari mode operasi 0 – 3 dapat dituliskan dan dijabarkan pada sebuah tabel pensaklaran seperti yang terlihat pada Tabel 1.

TABEL 1. Pensklaran Mode Operasi

Stage A		Stage B				Vo
S1	S2	S3	S4	S5	S6	
1	*1*	*1*	*0*	*0*	*1*	3E
0	*1*	*1*	*0*	*0*	*1*	2E
1	*0*	*1*	*0*	*0*	*1*	E
0	*0*	*1*	*0*	*0*	*1*	0
0	*0*	*0*	*1*	*1*	*0*	0
1	*0*	*0*	*1*	*1*	*0*	-E
0	*1*	*0*	*1*	*1*	*0*	-2E
1	*1*	*0*	*1*	*1*	*0*	-3E

Keterangan:
1 : Saklar daya *ON*
0 : Saklar daya *OFF*

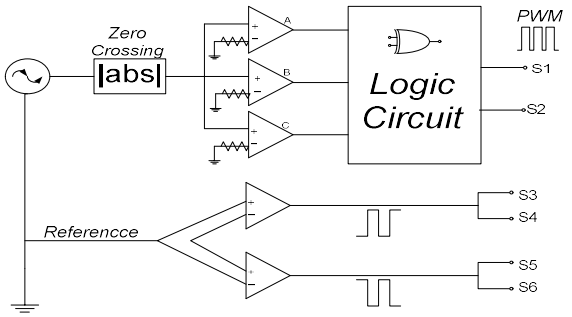
Berdasarkan dari Tabel 1 dapat dibuat rangkaian pengerak saklar daya S1 – S2 dengan menggunakan aljabar *boolean* dan secara rangkaian gerbang dapat terlihat seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Gerbang XOR untuk S1 – S2

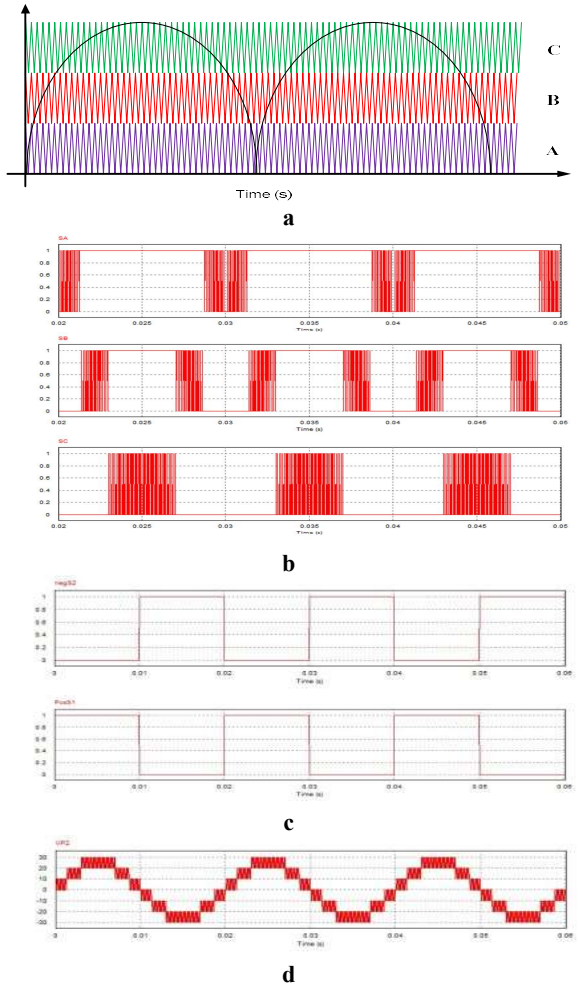
S1 = ((C⊕(B⊕A) (5)
S2 = B (6)

Dari rangkaian pengerak saklar daya S3 – S6 dapat diimplementasi dengan menggunakan rangkaian deteksi persilangan nol yang selalu bekerja pada frekuensi 50 Hz. Berikut ini rangkaian MLPS secara lengkap untuk kendali *inverter* 7-tingkat, seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian MPLS untuk inverter 7-tingkat

Berikut ini adalah pola pembentukan MLPS pada masing-masing saklar untuk membentuk tegangan keluaran *inverter* 7-tingkat, seperti pada gambar 10.



Gambar 10. (A) Komparasi sinyal spwm, (B) Sinyal MPLS di S1-S3, (C) Sinyal pembalik polaritas, (D) Tegangan keluaran *invereter* 7-tingkat

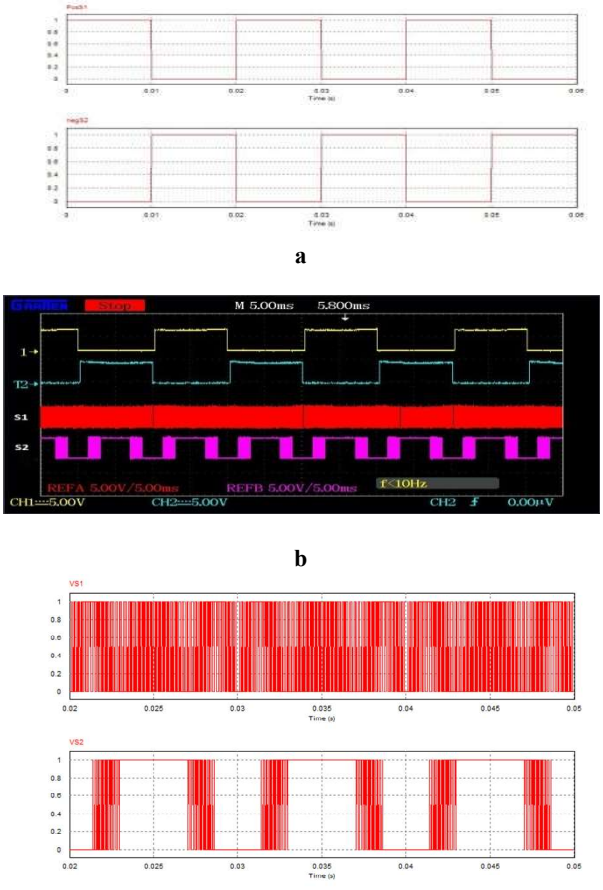
3. Hasil Pengujian Dan Analisis

Pengujian dilakukan untuk memastikan rancangan yang telah dibuat, berikut ini parameter simulasi *inverter* 7-tingkat tipe asimetris seperti pada tabel 2.

TABEL 2. Parameter Simulasi

Device	Units
Dc Input	20V
Dc Input 2E	10V
Inductiv Filter	2mH
Load Resistor	12 Ω
Refrence AC Peak Amplitude	5V
Refrence AC Frequency	50Hz
Carrier Triangular Vpp	2V
Carrier Triangular Frequency	10kHz
Carrier Duty Cycle	0.5
DC Offset Carrier A	0V
DC Offset Carrier B	2V
DC Offset Carrier C	4V
Print Time	0.02

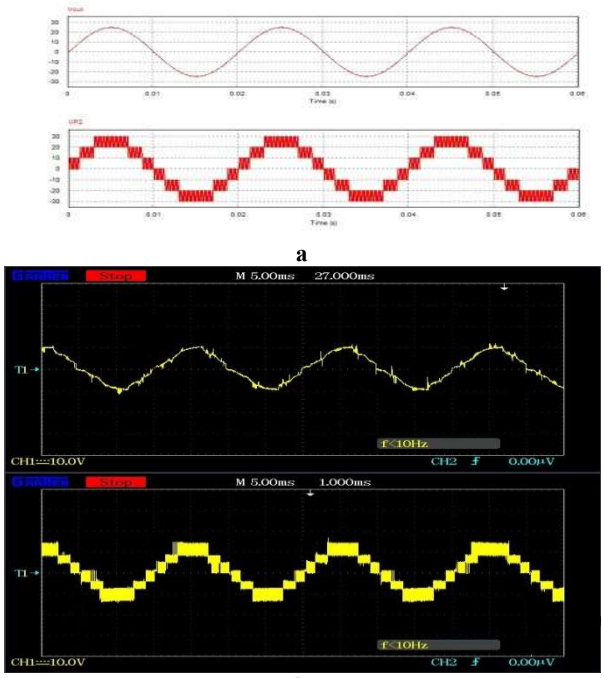
Pada tahap verifikasi yang pertama dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *Power Simulator*, didapatkan gelombang MLPS untuk saklar daya S1 – S2, seperti pada gambar 11 (a). Verifikasi tahap kedua dilakukan dengan pengujian purwarupa untuk gelombang MLPS untuk saklar daya S1 – S2, seperti pada gambar 11 (b). Pada gambar 12 tampak bahwa gelombang MLPS untuk masing-masing saklar daya S1– S2 memiliki bentuk yang sama. Dari hasil simulasi dan pengujian purwarupa nampak bahwa memiliki kesamaan yaitu memiliki polaritas positif dan negatif dengan frekuensi sebesar 50 Hz. Selanjutnya untuk mendapatkan gelombang MLPS pada saklar daya S1 dan S2, seperti gambar 11 (c).



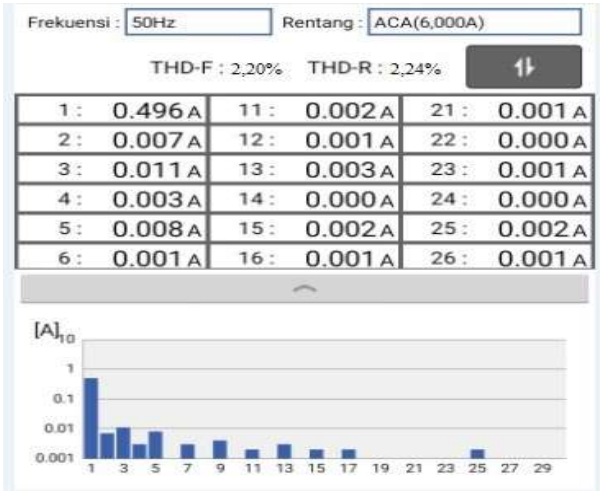
Gambar 11. Gelombang perlintasan nol S3 – S6 Simulasi (a), Pengujian pada Osiloskop Digital Pengujian pada Osiloskop Digital gelombang MLPS (S1 dan S2) (b), Simulasi (c).

Setelah gelombang MLPS pada masing-masing saklar daya dipastikan benar, maka pengujian dilanjutkan di bagian keluaran *inverter* 7 tingkat. Gambar 12 (a) adalah hasil simulasi yang dilakukan. Gelombang keluaran inverter ini terbukti dapat membentuk 7 tingkat. Sebagai tahap akhir dilakukan pengujian purwarupa seperti pada gambar 12 (b). Gelombang keluaran hasil pengujian purwarupa pada tegangan +24 V, +12V, +0V, 12V, -24V. Komponen fundamental dapat diperoleh dengan baik dengan memasang tapis induktor sebesar 2mH. Berdasarkan simulasi dan pengujian purwarupa *inverter* 7-tingkat dapat berjalan dengan baik.

Dari hasil simulasi dan pembuatan alat pada laboratorium didapatkan hasil yang sama membentuk tegangan tingkat sebanyak 7-tingkat. *Inverter* dengan mode operasi ini mampu mengurangi stress tegangan yang didapat pada komponen saklar daya. Pengujian kualitas keluaran inverter dilakukan dengan cara melakukan pengujian *Total Harmonic Distortion* sebesar 2,20 dengan menggunakan *digital power meter* HIOKI seperti gambar 13.



Gambar 12. Gelombang keluaran inverter 7- tingkat Simulasi. (a), Pengujian(b).



Gambar 13. Pengukuran THD menggunakan HIOKI

4. Kesimpulan

Inverter 7-tingkat yang dirancang dan disimulasikan mampu menghasilkan nilai gelombang tegangan keluaran sebanyak 7-tingkat. Dan THD yang diperoleh sebesar 2,20, yang berarti bahwa alat tersebut mempunyai kualitas yang baik tidak melampaui batas yang ditetapkan oleh IEEE senilai 5%. Dengan hasil THD yang rendah tersebut membuktikan bahwa alat yang dibuat dapat diaplikasikan sebagai salah satu sumber tegangan yang baik.

5. Daftar Acuan

[1] Y. I. Raharjo, L. H. Pratomo, J. Pawiyatan, L. Iv, and B. Dhuwur, "Implementasi MLPDS ½ λ pada AT mega 8535 untuk Aplikasi Inverter 5-Tingkat," no. July, pp. 52–56, 2017.

[2] S. A. Zulkifli, S. Salimin, and E. Elektronik, "Penyidikan terhadap Proporsional Resonant Kontrol saat ini untuk 7-Level Multilevel Inverter dengan Mengurangi Switching Perangkat," 2018.

[3] "INVERTER MULTI LEVEL TIPE JEMBATAN SATU FASA TIGA TINGKAT DENGAN MIKROKONTROLER AT89S51 A. Warsito, M. Facta, E. Aptono. T.Y *)," vol. 28, no. 2, 2007.

[4] J. Rodríguez, J. S. Lai, and F. Z. Peng, "Multilevel inverters: A survey of topologies, controls, and applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 49, no. 4, pp. 724–738, 2002.

[5] S. N. Rao, D. V. A. Kumar, and C. S. Babu, "New multilevel inverter topology with reduced number of switches using advanced modulation strategies," *Proc. 2013 Int. Conf. Power, Energy Control. ICPEC 2013*, pp. 693–699, 2013.

[6] L. H. Pratomo, F. D. Wijaya, and E. Firmansyah, "Capacitor Bank Voltage Equilibrium for MPPT in Single-Phase Single-Stage Five-Level Inverter for PV-Grid Application," *TELKOMNIKA Indones. J. Electr. Eng.*, vol. 14, no. 1, 2015.

[7] L. Mohammed and A. Ali, "A Novel Design of 7- Level Diode Clamped Inverter," no. April, 2019.

[8] IEEE Power and Energy Society, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," *IEEE Std. 519-2014*, no. September, p. 29, 2014.

[9] A. Fatchurahman, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa 9-Tingkat Tipe Asimetris," pp. 24–25, 2019.